

半干旱区封禁草地凋落物的积累与分解

程积民, 万惠娥, 胡相明, 赵艳云

(中国科学院水利部水土保持研究所, 西北农林科技大学水土保持研究所, 陕西杨凌 712100)

摘要: 针对我国西部典型草原地带, 退化草地封禁后凋落物的积累、分解与水分变化过程, 进行了为期 20a (1982 ~ 2002 年) 的定位试验研究。结果表明: 本氏针茅、百里香、铁杆蒿和大针茅草地群落的凋落物积累与厚度的变化趋势, 拟合曲线符合指数方程, 无论在植物年生长的初期还是末期, 其相关性极为显著。随着气温的升高和降雨量的增加, 凋落物的分解速率加快, 本氏针茅和大针茅群落凋落物的分解率达到峰值需 150d, 百里香群落需 180d, 铁杆蒿群落需 210d; 凋落物在积累与分解过程中, 具有吸水 and 保水的重要功能, 可截留大量天然降水, 促进土壤水分的缓慢入渗, 通常在植物生长的初期和末期, 凋落物在自然状态下饱和含水量, 本氏针茅群落为 112.30% ~ 124.02%; 百里香群落为 116.61% ~ 134.09%; 铁杆蒿群落为 124.76% ~ 144.32%。但草地适宜封禁年限为 11 ~ 15a, 有利于草地自然更新和凋落物的积累。

关键词: 封禁草地; 凋落物; 积累量; 分解速率; 半干旱区

文章编号: 1000-0933(2006)04-1207-06 **中图分类号:** Q948.1; Q968 **文献标识码:** A

Accumulation and decomposition of litter in the semiarid enclosed grassland

CHENG Ji-Min, WAN Hui-E, HU Xiang-Ming, ZHAO Yan-Yun (Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Northwestern Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Shaanxi Yangling 712100, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(4): 1207 ~ 1212.

Abstract: Based on a long-term (20 years) observation in typical grassland of China West, we analyzed the changing progress of litter accumulation, decomposition and variation of soil water in enclosed grassland. The results showed that exponential equation was adapted to changing trends of accumulation quantity and thickness of litter in grassland communities of *Stipa bungeana*, *Thymus mongolicus*, *Artemisia sacrorum* and *S. grandis*, the relativities of which were very distinct in the whole growth period. With air temperature increasing and rainfall enhancing, the litter decomposition speed accelerated. *S. bungeana* and *S. grandis* communities needed 150 days to reach to peak value, while *T. mongolicus* communities needed 180 days and *A. sacrorum* communities 210 days. There was a strong function of water absorption and retention, which could catch a lot of rainwater and keep soil water seeping in a slow speed. In the nature condition, Soil water saturated content in the growth prophase and anaphase of plant in the *S. bungeana*, *T. mongolicus* and *A. sacrorum* community were was 112.30% ~ 124.02%, 116.61% ~ 134.09%, 124.76% ~ 144.32%, respectively. It was favorable to grassland renewal and litter accumulation with 11-15 enclosed years appropriately.

Key words: enclosed grassland; litter; accumulation; decomposition speed; semiarid area

基金项目: 国家“十五”科技攻关计划资助项目(2004BA508B19); 中国科学院水土保持研究所知识创新领域前沿资助项目(SW04103); 国家基础研究发展“863”计划资助项目(2002CB11150); 国家自然科学基金重点资助项目(30230290); 国家自然科学基金资助项目(40371077); 国家林业局荒漠化监测专项资助项目

收稿日期: 2005-01-12; **修订日期:** 2005-10-05

作者简介: 程积民(1955 ~), 男, 陕西蒲城人, 研究员, 主要从事草地生态学与植被恢复研究. E-mail: gyzejm@ms.iswc.ac.cn

Foundation item: The project was supported by National Science and Technology Tackle of China(No. 2004BA508B19); Knowledge Innovation Project of Institute of Soil and Water Conservation of Chinese Academy of Science(No. SW04103); National Natural Science Foundation of China (No. 30230290); Project of national high tech investigation and development “973” Item, No. 2002CB111501; (No. 40371077) and Special Fund in Desertation Supervision of National Forest State

Received date: 2005-01-12; **Accepted date:** 2005-10-05

Biography: CHENG Ji-Min, Professor, mainly engaged in grassland ecology and vegetation rehabilitation. E-mail: gyzejm@ms.iswc.ac.cn

在黄土高原半干旱区凋落物的形成是草地生态系统的重要组成部分,凋落物不仅对草地土壤发育和改良有着重要的意义^[1],而且其结构疏松可大量吸收和保持天然降水,具有重要的作用,凋落物一方面可减缓雨滴对地面的直接溅击力和地表径流^[2,3],另一方面可截留天然降水,使土壤得到缓慢入渗,提高土壤水分,改变生态环境。同时,还可增加土壤肥力,促进植物群落的正常演替。

在国内外,对凋落物的研究最早是从森林凋落物的研究开始,而且多集中研究凋落物在增加土壤肥力和改善物质循环中的作用^[4,5],德国的 Ebermayer E 从 1876 年就开始研究凋落物中的养分循环过程^[6],Bray 1964 年进行了森林凋落物积累量的研究,论述了凋落物在森林生态系统中的重要作用^[7],Syker and Bunce 从 1970 年开始,通过多年对凋落物积累过程的研究,提出凋落物积累量的时序变化过程^[8],Wiegert and Evans 讨论了凋落物积累量的测定方法^[9]。我国对凋落物的研究开展较晚^[10],从 20 世纪 80 年代初开始,首先进行了森林凋落物的研究,而对草地凋落物的研究报导较少,尤其是对半干旱区典型草原凋落物的长期积累与分解过程的研究尚未见报导。本文在半干旱区封禁典型草原群落中,历经 20 多年的时间对草地凋落物进行了定位观测,分析了主要群落凋落物的积累过程、分解速率和水分变化动态。

1 试验区自然概况

本试验区位于宁夏固原东北部的云雾山草原自然保护区,东经 106°24′~106°28′,北纬 36°13′~36°19′,面积为 4000 hm²,海拔 1800~2100 m,年平均气温 5℃。年降雨量 400~450 mm,一般丰水年占 28.0%,平水年占 35.5%,枯水年占 36.5%,7~9 月份降雨量占全年降雨量的 65%~75%。蒸发量 1330~1640 mm,≥10℃积温 2100~3200℃,干燥度 1.5~2.0。地势为南低北高,阳坡平缓,阴坡较陡,属温凉半干旱黄土覆盖的低山丘陵区,土壤为黄土母质上发育的淡黑垆土和黄绵土,土层分布均匀深厚,地下水位深,土壤水补充能力差,无霜期 112~140d。保护区主要植物类型以本氏针茅(*Stipa bungeana*)、百里香(*Thymus mongolicus*)、铁杆蒿(*Artemisia vestita*)、大针茅(*S. grandis*)、冷蒿(*A. frigida*)为主,伴生类型以猪毛蒿(*A. scoparis*)、厚穗冰草(*Aneurolepidium dasystachys*)、星毛委陵菜(*Potentilla acaulis*)群落为主。

2 试验材料与方法

2.1 试验设计

试验于 1982 年开始在宁夏固原东北部的云雾山草原自然保护区,设计了封禁草地和未封禁草地二种处理,选用了本氏针茅、百里香、铁杆蒿、大针茅、冷蒿、猪毛蒿、厚穗冰草、星毛委陵菜等为主的群落类型。在每个草地群落类型和对照中分别设固定样地面积为 10 hm²,固定样方 10 个,每个样方面积为 1 m×1 m,重复 3~5 次。

2.2 试验测定方法

2.2.1 牧草生长测定 结合草地凋落物生物量积累的测定,采用样方调查和数字植物灌层分析仪相结合的方法,在每年牧草生长的后期(9 月 5 日)测定植物种类、密度、盖度、高度及生物量;植物多度、频度及种数组成采用样方统计法测定;株高生长采用定株标记法测定;群落覆盖度采用投影法测定;生物量采用刈割称重法测定^[1]。

2.2.2 凋落物生物量积累测定 凋落物生物量积累测定,选择固定样方,在每年牧草生长停止时(10 月 5 日)测定凋落物的积累厚度,并分牧草的茎、叶和果实分别采用称重法称其重量。

2.2.3 凋落物的含水量测定 在不同草地类型内各选择样方 3 个,每个样方重复 3~5 次,样方面积 20 cm×20 cm,每年 4 月 5 日~10 日和 10 月 5 日~10 日采集样品,在烘箱 60~80℃的温度下烘至恒重,称其重量,计算不同季节凋落物的自然含水量。

2.2.4 凋落物的吸水量测定 在每年 4 月和 10 月份用金属自制的长 20 cm 宽 20 cm 高 10 cm 的凋落物取样器采集凋落物样品,在样品采集装入取样器中时,一定要保持自然结构完整,然后在实验室或近水源的地方将样品放置水中浸泡至恒重,以测定凋落物的饱和含水量。

2.2.5 凋落物的分解测定 每年 4 月和 10 月份在不同草地类型固定样地内各选择样方 3 个,每个样方重复

3~5次,观察凋落物在自然条件下全分解物和半分解物的变化过程。

2.2.6 草地土壤含水量测定 分封禁草地(地面凋落物覆盖均匀)和未封禁草地(地面无凋落物覆盖)两种,在每年4月中旬和10月上旬,采用土钻法测定土壤含水量,土壤水分测定深度为0~500 cm,每20 cm取土一层,共分为31个土层,分别装入铝制土盒,在烘箱(105℃)中烘至恒重,称其重量,计算土壤含水量,并以百分数表示,以上各类型在测定过程中重复2次取平均值。

3 试验结果与分析

3.1 封禁草地凋落物的积累对植被演替的影响

通过对半干旱区典型草原本氏针茅、百里香、铁杆蒿和大针茅优势群落凋落物长期积累的定位观测(见表1)以及统计分析,结果表明,在植物生长的初期(4月份)和末期(10月份),草地凋落物的积累量随着时间的延长而持续增长,一般凋落物的增长峰期在每年的8月下旬到10月上旬。同时,随着封禁时间、立地条件的变化,凋落物的厚度不断增大,在四种优势群落中,凋落物的积累量无论在生长初期还是末期,其厚度与蓄积量均成正相关关系,且相关性极为显著。

表1 封禁草地凋落物厚度与蓄积量相关表

Table 1 The correlation between storage and thickness of the litter in grassland

草地类型 Grassland types	月份 Month	厚度与蓄积量回归方程 The regression equations between thickness and storage	相关系数 R Correlative coefficients
本氏针茅群落 <i>Stipa bungeana</i> community	4	$Y = -19.9730 + 42.9882x$	0.98687
本氏针茅群落 <i>S. bungeana</i> community	10	$Y = -23.1824 + 44.0609x$	0.98996
百里香群落 <i>Thymus mongolicus</i> community	4	$Y = -19.7035 + 29.5814x$	0.93439
百里香群落 <i>T. mongolicus</i> community	10	$Y = -30.2202 + 35.7126x$	0.92117
铁杆蒿群落 <i>Artemisia sacrorum</i> community	4	$Y = -9.2329 + 32.6214x$	0.98019
铁杆蒿群落 <i>A. sacrorum</i> community	10	$Y = -14.7346 + 36.0882x$	0.98396
大针茅群落 <i>S. grandis</i> community	4	$Y = -23.1059 + 33.5224x$	0.93415
大针茅群落 <i>S. grandis</i> community	10	$Y = -29.0018 + 38.1532x$	0.95168

从图1可以看出,草地在封禁的第1年~第5年,植物生长处于对环境因子的适应期,其生长高度、覆盖度、密度和频度都不高,因为此时外来种和乡土种均处在不断竞争阶段,群落的更新缓慢,但随着植物生长的季节性变化,虽然形成了一定的凋落物层,但厚度和积累量均较低;而在封禁的第6年~第10年,植物的生长适应了其环境,植物的高度、覆盖度、密度和频度均已接近峰值,优势种群落生长基本稳定,且不断进行自然更新,凋落物厚度和积累量也大幅度增长;在封禁的第11年~第15年,植物的生长已基本进入了正常演替阶段,草地群落的自然更新速度加快,凋落物的厚度和积累量也均达到了峰值,分别为2.1cm和267g/m²;封禁的第16年~第20年,由于较厚的凋落物层拟制了草地种子的萌发,直接影响了草地的自然更新。因此,草地凋落物积累量随封禁时间的延长,不但没有增加,而且有所下降。目前,凋落物的厚度基本保持在1.7~1.9cm,积累量为180~215g/m²。这一研究结果表明,在半干旱区的典型草原,草地封禁11~15a,即可进行合理的放牧或刈割利用,否则草地凋落物层加厚会拟制草地的自然更新。

3.2 封禁草地凋落物的分解速率

通过对典型草原优势群落本氏针茅和大针茅、百里香、铁杆蒿凋落物的分解速率测定,结果(见图2)表明,随着时间的延长凋落物的分解速率加快,从每年的2~11月份,随气温的升高和水分的增加,凋落物的分解呈A字型,其峰值出现在7~8月份间,此时,月平均气温为全年最高达20.3℃,月降雨量也是全年最大的,为78~134 mm,此时,是凋落物分解过程中分解速率最高的季节,出现峰值最早的是本氏针茅和大针茅群落,其次为百里香和铁杆蒿群落。多年的测定结果表明,本氏针茅和大针茅群落凋落物的分解,随季节的变化,到150d分解速率最高,为90%,其后随着气温和降雨量的锐减,分解速率逐渐下降;百里香群落凋落物的分解随着时间的延长,到180d分解速率达到最高,为77%,其后由于气温和降雨量的下降,限制了植物的生长^[11],使凋落物的分解速率逐渐降低;铁杆蒿群落凋落物的分解随着时间的延长,到210d分解速率达到最高,为65%,其后

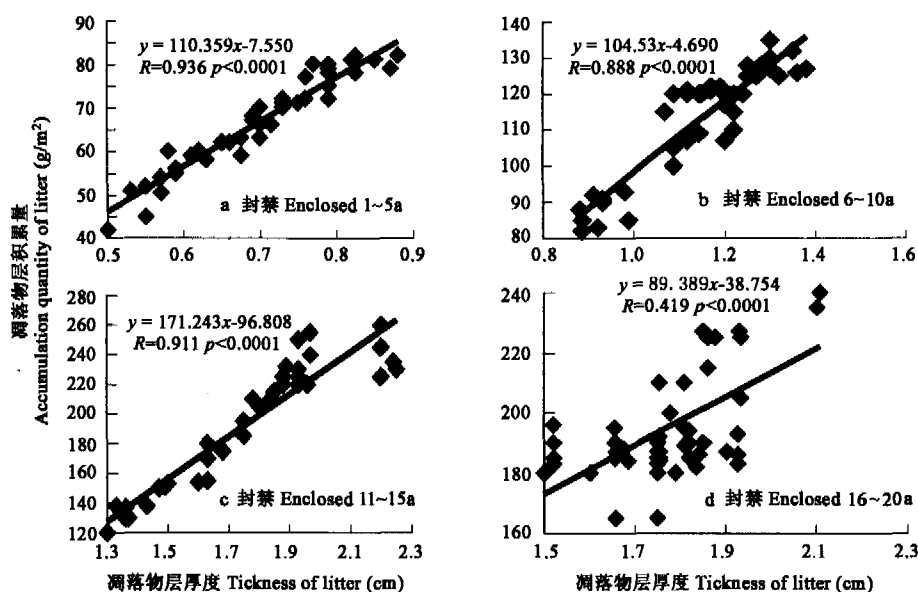


图1 云雾山本氏针茅群落不同封禁年限凋落物积累量变化

Fig.1 Change of litter accumulation quantity of *Stipa bungeana* community for different enclosed time in Yunwushan

随着气温和降雨量的下降,分解速率逐渐降低。本氏针茅和大针茅群落凋落物的分解时间短、速率高,其原因一方面是禾本科呈针叶状,茎叶柔软,另一方面,从每年的返青期到种子成熟期,生长期短,茎叶脱落早,且水热同步,有利于凋落物的分解。铁杆蒿群落凋落物的分解慢,分解速率低,其原因是铁杆蒿茎秆坚硬,叶片表面较粗糙,不易腐烂,且年生长期长,茎叶脱落晚,水热不同步,影响了凋落物的分解。

3.3 封禁草地凋落物分解与土壤水分的关系

封禁草地4种群落类型凋落物的分解与土壤水分的关系非常密切,土壤含水量越高,分解速率越大。从图3可以看出,本氏针茅、大针茅和百里香群落凋落物的分解速率,随土壤含水量的增加,凋落物的分解速率呈线性增长,本氏针茅群落的回归方程为:

$$Y = -31.1624 + 4.7657X, R^2 = 0.8105, p < 0.001$$

大针茅群落回归方程为:

$$Y = -29.6496 + 4.9479X, R^2 = 0.9497, p < 0.001$$

百里香群落回归方程为:

$$Y = -32.3659 + 5.1283X, R^2 = 0.9477, p < 0.001$$

而杂类草群落,随着土壤含水量的增加,凋落物的分解速率比较缓慢,回归方程为:

$$Y = -22.9935 + 4.0252X, R^2 = 0.6466, p < 0.001$$

其原因是杂类草凋落物中,含有较多的坚硬茎叶和纤维较长的植物叶片,所以需要较长时间的分解。另外,通过多次的重复试验测定,凋落物的自然含水量和饱和含水量,在植物生长的初期和末期分别为:本氏针茅群落在年生长的初期,自然含水量为11.35%,饱和含水量为124.02%,在年生长的末期,自然含水量为23.87%,饱和含水量为112.30%;百里香群落在年生长初期,自然含水量为9.30%,饱和含水量为134.09%,在年生长的末期,自然含水量为18.84%,饱和含水量为116.61%;铁杆蒿群落在年生长初期,自然含水量10.21%,饱和含水量为144.32%,在生长的末期,自然含水量为26.32%、饱和含水量为124.76%。研究结果再次证明,草地凋落物具有较强的吸水和自然含水能力,在保持水土、土壤水分入渗和草地土壤水分平衡等方面起着重要的作

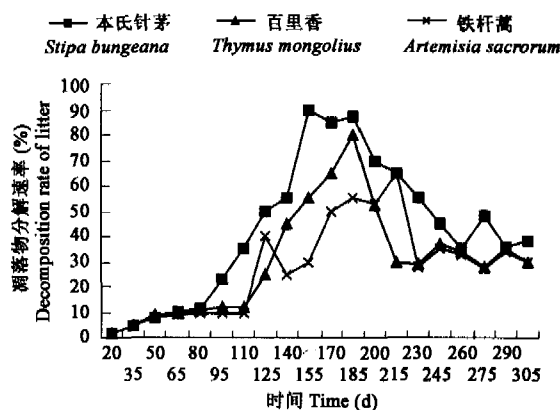


图2 封育草地不同群落凋落物分解速率

Fig.2 Litter decomposition rate of different community types in enclosed grassland

用^[12]。同时,随着凋落物厚度的变化,草地土壤 0~50cm 的含水量分别比对照提高,本氏针茅群落 5.3%;大针茅群落 4.9%;百里香群落 6.1%;铁杆蒿群落 4.6%;杂类草群落 5.6%,这进一步说明封禁草地具有较强的水分调节作用。

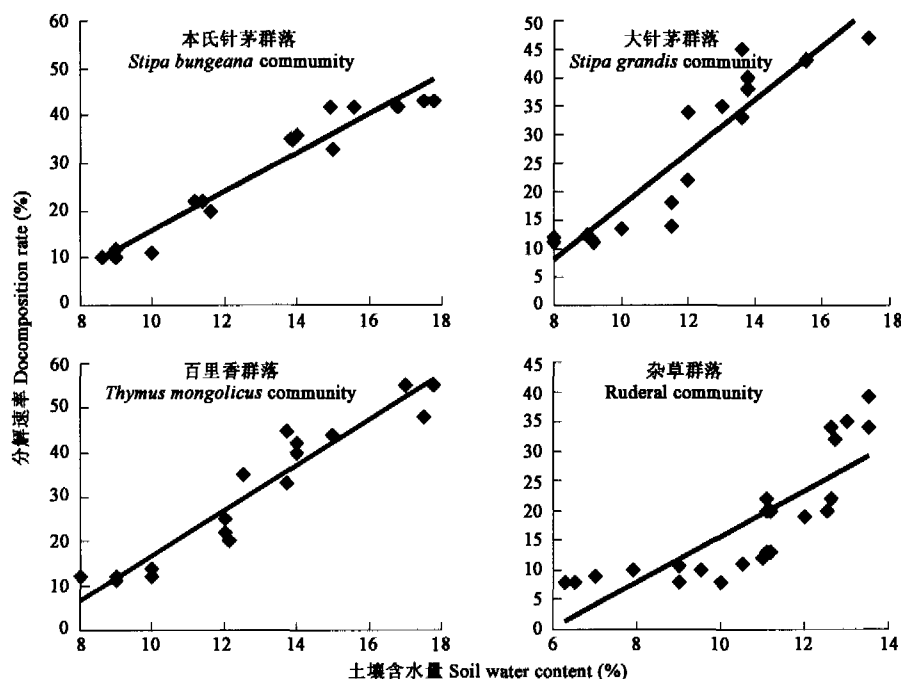


图 3 不同群落凋落物的分解速率和回归方程

Fig. 3 Litter decomposition rate of different community types and regression equations

4 结论与讨论

黄土丘陵区退化天然草地,自然封禁保护 20a 以来,草地植被发生了很大变化,不仅植物种类、群落覆盖度及生产力有较大提高,而且草地土壤水分显著增加,从而促进了封禁草地凋落物的积累与分解,实现了半干旱区退化草地的植被恢复,并使草地植被呈顺向演替。同时,由于植物群落的生长环境发生了明显变化,使得凋落物一方面在不断地生产,另一方面又在连续分解,这种分解与生产的动态过程,决定了凋落物层的不断形成。在不同生物气候带,不同草地类型,凋落物的生产、形成与分解都有不同的特点和过程。典型草原地带主要草地群落封禁后凋落物的积累量,随季节和年际间的变化,增长幅度差异显著。同时,随着植物年生长周期的变化,凋落物的增长峰期出现在每年的 8 月下旬~10 月上旬,本氏针茅群落平均凋落物积累量为 132 g/m^2 ;大针茅群落为 89.6 g/m^2 ;百里香群落为 83 g/m^2 ;铁杆蒿群落为 102.3 g/m^2 。但草地群落类型不同,凋落物积累量也存在较大差异,资料表明,内蒙古草原羊草群落凋落物的现存量为 40 g/m^2 ;大针茅群落为 60 g/m^2 ^[13]。另外,凋落物的年际间增长峰期在草地封禁的第 11 年~第 15 年,此时,植物的生长已基本进入顺向演替阶段,草地自然更新速度加快,凋落物的厚度和积累量均已达到了峰值,其厚度为 2.1cm,总积累量最高达 267 g/m^2 。因为凋落物的分解是多个生态因子综合作用的反映,它取决于植物个体结构的类型、温度、水分含量、分解者(微生物)的数量和活力等^[14],本研究草地凋落物的分解速率与温度及水分含量呈正相关关系,且一般茎叶柔软的禾本科植物易腐烂,分解速率高。本试验测定本氏针茅和大针茅群落凋落物的分解率达到峰值时大约需要 150d,分解率最高为 90%,凋落物含水量在 14%~16.5%之间;在百里香和铁杆蒿群落中,由于水分较低,其分解速率较弱,分解过程相对较慢,需要的分解时间较长。陈佐忠等人研究内蒙古草原羊草群落的结果表明,凋落物的分解速率 1a 为 40%;2~4a 为 80%^[13]。森林群落凋落物的分解速率许多研究结果表明,在林下凋落物含水量长期维持在 13% 以上时需要 180d,软阔叶林(山杨林和白桦林)的分解速率可达 71.4%~75%,

而硬阔叶林(辽东栎林)分解速率仅为 47% ~ 52%^[15,16]。凋落物在分解过程中最显著的特点,是在凋落物与土壤的结合部分,出现大量的白色菌丝和蚯蚓粪便及昆虫洞穴^[17,18],促进土壤养分的形成与积累,提高拦蓄地表径流及增加土壤水分的能力。因而,凋落物的分解过程是温度、降雨、湿度和微生物等共同作用的结果。

References:

- [1] Mu C Y. Measurement of Terrestrial Plant Community (interpreted by Jiang S, et al.). Beijing: Science Press, 1981.
- [2] Zhao H Y, Wu Q X, Liu X D. Hydrological and water conservative function of litterfall in the stands of *Populus Davidiana*. *Scientia Silvae Sinicae*, 1994, 30(2): 176 ~ 180.
- [3] Bao W, Bao W K, He B H, Ding D R. Interception effect of precipitation by liter and soil under 23-year artificial *Pinus Tabulaeformis* forest in upper reaches of Minjiang River. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2004, 18(5): 115 ~ 119.
- [4] Zhu J Z, Liu J J, Zhu Q K, et al. Hydro-ecological functions of forest litter layers. *Journal of Beijing Forestry University*, 2002, 24(5/6): 30 ~ 34.
- [5] Ogee J, Brunet Y A. Forest floor model for heat and moisture including a litter layer. *Journal of Hydrology*, 2002, 255(1-4): 212 ~ 233.
- [6] Li X Y, Sun J K, Chang Z H, et al. A study on litter and forest floor in Tianshan Mountains. *Acta Pedologica Sinica*, 1997, 34(4): 406 ~ 417.
- [7] Bray J R, Gorham E. Litter production in forest of the world. *Advanc Ecol Res*, 1964, (2): 101 ~ 158.
- [8] Sykes G M, Bunce R G H. Fluctuations in litter fall in a mixed deciduous woodland over a three-year period 1966 ~ 1968. *Oikos*, 1970, (21): 326 ~ 329.
- [9] Wiegert R Y, Evans F C. Primary production and the disappearance of dead vegetation on old field in southeastern Michigan. *Ecology*, 1964, 45: 49 ~ 63.
- [10] Zhao H Y, Wu Q X, Liu G B. Studies on soil and water conservation function of litter in Chinese pine study on Loess plateau. *Scientia Silvae Sinicae*, 2003, 39(1): 168 ~ 172.
- [11] Guo J X, Zhu T C. Contrast study about litter dynamics of main communities in *Aneurolepidium chinense* grassland region in northeast of China. *Acta Botanica Sinica*, 1992, 34(7): 529 ~ 534.
- [12] Wang F Y. Review on the study of forest litterfall. *Advances in Ecology*, 1989, 6(2): 82 ~ 89.
- [13] Chen Z Z, Wang S P, et al. Typical grassland ecosystem of China. Beijing: Science Press, 2000. 204 ~ 222.
- [14] He C Q. Chinese Dynamics of litter and under-ground biomass in *Carex lasiocarpa* wetland on Sanjiang Plain. *Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(3): 363 ~ 366.
- [15] Cheng J M, Li X L. The vegetation features and water-holding effects of the litter in the Ziwu ridge. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 1992, 10(1): 55 ~ 64.
- [16] Yin C J, Huang D H, Chen Z Z. Quantitative relationships between the litter decomposition of four species in inner Mongolia grassland and climatic factors. *Acta Ecologica Sinica*, 1994, 14(2): 149 ~ 154.
- [17] Zhao J, Liao Y N, Zhang G Z, et al. The soil microbial activity effect after the plant residues in different phenological periods and litter of *Aneurolepidium chinense* return steppe. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis NeiMenggu*, 1994, 25(3): 300 ~ 304.
- [18] Liao Y N, Zhao J, Zhang G Z. The microbiological effect and decomposition of litter of *Aneurolepidium chinense* and *Stipa grandis*. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica*, 1989, 13(4): 359 ~ 366.

参考文献:

- [1] 木村允. 陆地植物群落的生产量测定方法. 姜恕等译. 北京: 科学出版社, 1981.
- [2] 赵鸿雁, 吴钦孝, 刘向东. 山杨林枯枝落叶的水文水保作用研究. *林业科学*, 1994, 30(2): 176 ~ 180.
- [3] 鲍文, 包维楷, 何丙辉, 等. 岷江上游 23 年生油松纯林下凋落物与土壤截留降水的效应. *水土保持学报*, 2004, 18(5): 115 ~ 119.
- [4] 朱金兆, 刘建军, 朱清科, 等. 森林凋落物层水文生态功能研究. *北京林业大学学报*, 2002, 24(5/6): 30 ~ 34.
- [5] 李叙勇, 孙继坤, 常直海, 等. 天山森林凋落物和枯枝落叶层的研究. *土壤学报*, 1997, 34(4): 406 ~ 417.
- [10] 赵鸿雁, 吴钦孝, 刘国斌. 黄土高原人工油松林枯枝落叶层的水土保持功能研究. *林业科学*, 2003, 39(1): 168 ~ 172.
- [11] 郭继勋, 祝廷成. 东北地区羊草草原主要群落立枯-凋落物动态的比较研究. *植物学报*, 1992, 34(7): 529 ~ 534.
- [12] 王凤友. 森林凋落量研究综述. *生态学进展*, 1989, 6(2): 82 ~ 89.
- [13] 陈佐忠, 汪诗平, 等. 中国典型草原生态系统. 科学出版社, 2000. 204 ~ 222.
- [14] 何池全. 毛果苔草湿地枯落物及其地下生物量动态. *应用生态学报*, 2003, 14(3): 363 ~ 366.
- [15] 程积民, 李香兰. 子午岭植被类型特征与枯子落叶层保水作用的研究. *武汉植物学报*, 1992, 10(1): 55 ~ 64.
- [16] 尹承军, 黄德华, 陈佐忠. 内蒙古典型草原 4 种植物凋落物分解速率与因子之间的定量关系. *生态学报*, 1994, 14(2): 149 ~ 154.
- [17] 赵吉, 廖仰南, 张桂芝, 等. 羊草不同物候期植株及凋落物回收草原土壤微生物活性效应. *内蒙古大学学报*, 1994, 25(3): 300 ~ 304.
- [18] 廖仰南, 赵吉, 张桂芝. 羊草和大针茅凋落物分解及其微生物学效应. *植物生态学与地植物学学报*, 1989, 13(4): 359 ~ 366.